

Tinjauan Pembangkit Hidrotermis Setelah Penggabungan PLTA Pompa Pada Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali

Abdul Multi¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains Dan Teknologi Nasional, Jakarta
Email: multiabd@yahoo.com

Abstract

With the pumped storage integrated to the power system, an analysis of its scheduling is needed. The study is in the electrical power system related to hydrothermal units in the power system of Jawa-Madura-Bali (JAMALI). The scheduling is based on the daily load curve and load distribution among hydrothermal units. With pumped storage operated, the load flow will influence the stability of power system. The objective of thermal units optimization is to minimize total operation costs.

Scheduling of pumped storage and optimization of thermal units are used a particle swarm optimization (PSO) technique due to its high-performance and flexibility. PSO is used as base algorithm to search for better solution. In addition power balance, water discharge and reservoir volume are considered. For the necessity of analysing it needs to simulate in forecasting load of short term, scheduling pumped storage operation, computing load flow and minimising generation costs in the power system of JAMALI.

Kata Kunci: *optimization, pumped storage, hydrothermal units*

1 PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik pada umumnya terdiri dari sejumlah PLTA dan sejumlah Pusat Listrik Termis yang saling terinterkoneksi dan memikul beban listrik yang besarnya berbeda-beda setiap saat. Agar didapat operasi yang optimum bagi sistem tenaga listrik secara keseluruhan khususnya kelompok Pusat Listrik Termis dimana dicapai biaya pemakaian bahan bakar yang minimum, perlu dicari jalur pembagian beban antara subsistem hidro (kelompok PLTA) dan subsistem termis secara optimum [1]

PLTA Pompa direncanakan akan dibangun pada anak sungai Citarum yang terletak tidak jauh dari PLTA Cirata dan memanfaatkan aliran air sungai Cisokan. PLTA Pompa akan digabungkan pada sistem tenaga listrik JAMALI yang didalamnya telah beroperasi pembangkit hidrotermis. PLTA Pompa ditujukan untuk memasok daya listrik yang dibutuhkan oleh beban dan sebagai pembangkit cadangan yang dapat

dengan cepat dioperasikan dari keadaan diam.

Dalam sistem tenaga listrik PLTA Pompa dapat dioperasikan untuk pembangkitan listrik, pemompaan air atau diam (tidak beroperasi). Dengan mengoperasikan PLTA Pompa diperoleh beberapa keuntungan diantaranya dapat membuat beban sistem menjadi hampir rata, sebagai pembangkit cadangan dan memegang peranan penting dalam menurunkan biaya pembangkitan secara keseluruhan. Kendala-kendala (*constraint*) yang membatasi operasi PLTA Pompa seperti ketersediaan air didalam bendungan dan pembangkitan atau pemompaan yang tidak kontinu [2].

Dalam pembuatan jadwal operasi PLTA Pompa diikuti sertakan semua kendala seperti keseimbangan beban, cadangan pembangkit, waktu minimum up/down, aliran daya dan konsumsi bahan bakar pada pembangkit termis. Penjadwalan operasi PLTA Pompa

ditujukan untuk mendapatkan biaya operasi yang rendah pada pembangkit termis, secara bersamaan juga dapat dipecahkan permasalahan pada *unit commitment* dan *economic load dispatch* [3].

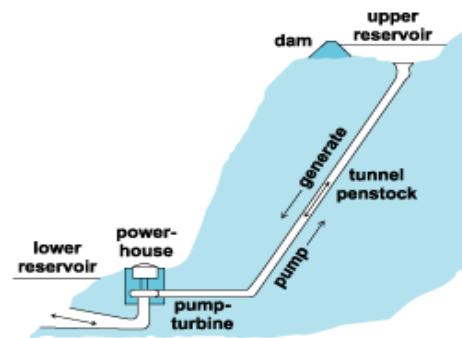
PLTA Pompa terdiri dari dua bendungan (*reservoir*) yaitu bendungan atas dan bendungan bawah yang memiliki ketinggian yang berbeda. Bila air diturunkan dari bendungan atas ke bendungan bawah dan memutar turbin, maka energi listrik akan dihasilkan oleh generator yang diputar oleh turbin tersebut. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator disalurkan ke jaringan sistem tenaga listrik pada saat beban puncak. Diagram pumped storage ditunjukkan pada Gambar 1 [5].

Air dari bendungan bawah dipompa kembali ke bendungan atas dengan menggunakan pompa yang diputar oleh motor. Motor mendapat suplai daya dari jaringan sistem tenaga listrik pada saat beban rendah. Proses pembangkitan energi listrik oleh PLTA sampai maksimum output dapat dilakukan dalam 12 sampai 16 detik [4, 5]. PLTA Pompa dapat dijadikan sebagai fasilitas cadangan selama periode beban puncak.

PLTA pada umumnya dan pumped storage pada khususnya merupakan pembangkit yang dapat dikembangkan sebagai energi primer bebas CO₂ yang terbarukan (*renewable*). Teknologi turbin-pompa yang dapat dibalik (*reversible*) digunakan untuk menyimpan sejumlah besar energi listrik ekstra dan menyuplai daya pada beban puncak dengan cepat dengan mengalirkan air bolak balik diantara dua bendungan yang mempunyai ketinggian yang berbeda. Pembangkit-pembangkit tersebut dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan energi angin dan matahari, dengan memberikan kapasitas penyimpanan yang besar pada sistem tenaga listrik.

Pumped storage juga memegang peranan yang penting dalam peningkatan keamanan suplai listrik, khususnya dimana produksi listrik sangat dijamin oleh PLTA yang menunjukkan 11,3% dari kapasitas total [15]. Karena kenaikan yang cepat dalam penjualan energi jangka pendek, maka PLTA perlu

ditingkatkan operasinya dan diperbaiki fungsi penjualannya dengan mengembangkan manajemen resiko. Deregulasi pasar memberi kesempatan yang khusus kepada produser pembangkit untuk meningkatkan produksinya, khususnya pada saat beban puncak.



Gambar 1 Diagram Pumped storage

Pembangkit listrik modern diharapkan dapat beroperasi dengan kecepatan yang variabel pada rentang output daya dengan efisiensi, fleksibilitas dan keamanan yang ditingkatkan. Pumped storage menjadi penting karena dibutuhkan untuk penyimpanan dan pembangkitan listrik untuk mensuplai kebutuhan beban yang tinggi. Di negara-negara lain investasi yang sangat besar telah direncanakan untuk memperbaharui atau membangun PLTA Pompa. Meskipun demikian PLTA Pompa masih menghadapi tantangan-tantangan ilmiah dan teknik yang kompleks pada sisi hidrodinamika, listrik dan teknik sipil. Disamping issue lingkungan, juga harus dikuasai pengembangan yang berkesinambungan dan manfaat dari pembangkit ini [6].

Masalah yang dihadapi setiap saat dalam pengoperasian pembangkit hidrotermis pada sistem tenaga listrik adalah menentukan urutan pembangkitan (*unit commitment*) untuk memenuhi kebutuhan beban dan cadangan. Tujuannya adalah untuk meminumkan biaya pembangkitan. Konsekwensi ekonomi dari penjadwalan operasi pembangkit sangat signifikan. Dengan pengurangan biaya pembangkitan yang kecil dalam persentase dapat

menghasilkan penghematan yang sangat besar [1].

Tabel 1 Arah perkembangan dan state of arts optimisasi pembangkit hidro termis.

Aplikasi					adjustable scheduling				
					DSSolution				
					optimizer				
Aplikasi Dasar	Kontrol	Hydrothermal Generation Scheduling	dispatching units		power system unit commitment	optimization model	optimal solution	differentiable	
		Lagrangian relaxation		Lagrangian relaxation		stochastic programming			
		Stochastic Algorithm	Markov Stochastic	genetic Algorithm	simulated annealing		Particle Swarm Opti- mization	Multiobjective	
		Dynamic Programming						Dynamic Programming	
	Rencana					nonlinear/variable scheduling/storage distributed/nature		starting of power storage synchronization	
						systematic multivariable controller		EMTP/PS	
Tahun		1994	1996	1998	2002	2008		2019	
		1999			2004				

Dalam operasi sistem tenaga listrik harus dijaga keandalan dan penghematan biaya operasi. Dengan demikian penjadwalan pembangkit hidrotermis memegang peranan yang penting dalam perencanaan operasi sistem tenaga listrik. Penjadwalan pembangkit hidrotermis lebih kompleks dari pada penjadwalan pembangkit termis saja. Sasaran dari penjadwalan tersebut adalah untuk mendapatkan penjadwalan yang optimal dan output pembangkitan dengan memenuhi berbagai kendala (constraint) dan memenuhi kebutuhan beban masa mendatang yang diprediksikan sebelumnya [2].

2 TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang terkait dengan pembebanan pembangkit hidro termis yang optimal telah banyak dilakukan. Dengan berkembangnya teknik-teknik optimisasi dan kemajuan dalam bidang perangkat lunak untuk komputasi menjadikan proses optimisasi lebih cepat dan hasilnya lebih dilakukan saat ini untuk mendapatkan jalur pembagian beban pada pembangkit hidro termis yang tepat dengan akurat.

Kebanyakan penelitian yang menggunakan berbagai metode sehingga dihasilkan pemakaian bahan bakar yang minimum. Tabel 1 menunjukkan perkembangan penelitian optimisasi pembangkit hidro termis dan masalah-masalah yang terkait.

Penelitian sebagian besar masih terkait dengan penggunaan metode Lagrangian multipliers untuk memberikan cara solusi yang efisien yang terdapat pada kendala (constraint), memperoleh solusi yang optimal dan menunjukkan algoritma yang efisien. Penelitian tersebut berkonsentrasi pada metodologi solusi untuk unit PLTA Pompa yang berada dalam keadaan pembangkitan, pemompaan atau diam [7].

Pada perkembangan selanjutnya permasalahan penjadwalan pembangkit hidro termis diselesaikan dengan menggunakan algoritma pemecahan Novel. Penjadwalan pembangkit hidro termis tersebut ditujukan untuk meminimumkan biaya pemakaian bahan bakar total sistem tenaga listrik yang harus memenuhi berbagai kendala [8].

Metode Lagrangian juga dapat dipakai untuk memecahkan masalah unit commitment, solusi identik terhadap subproblem yang terkait dengan unit-unit yang identik yang menyebabkan solusi ganda menjadikan jauh dari solusi optimal dan osilasi solusi yang tidak tepat. Dengan menggunakan metode baru yang mengkombinasikan konsep penambahan Lagrangian relaxation dan pengganti subgradient untuk menghasilkan arah penelusuran yang tepat pada level yang tinggi. Subproblem termasuk yang terkait dengan unit-unit yang identik dapat dipecahkan secara berurutan sehingga unit commitment dari unit-unit yang identik menjadi tidak homogen pada solusi ganda (rangkap). Bila metode yang baru ini dibandingkan dengan Lagrangian relaxation yang standar, maka metode yang baru ini dapat memperoleh solusi ganda yang lebih baik dan menghindari osilasi solusi [9].

Lebih jauh lagi, keputusan-keputusan transaksi harus dibuat secara real time dalam tinjauan kompetitif pasar daya yang disebabkan oleh deregulasi. Sehingga transaksi harus dianalisis dari sudut pandang

manfaat penjualan untuk suatu sistem yang terdiri dari unit-unit termis, hidro dan PLTA Pompa. Untuk memecahkan masalah ini secara efektif, maka pendapatan penjualan linear didekati dengan fungsi nonlinear dan pilihan yang tidak menguntungkan perlu diidentifikasi dan dihilangkan dari perhitungan. Dengan demikian Multipliernya perlu dirubah pada level yang tinggi dengan menggunakan metode subgradient yang dimodifikasi untuk memperoleh solusi optimal yang cepat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritmanya menghasilkan penawaran penjualan yang efisien [10].

Untuk mengatasi keterbatasan pada sumber pembangkitan yang berubah-ubah dan tidak dapat diprediksi bahkan pada jangka pendek, maka PLTA pompa dapat digabungkan dengan pembangkit listrik tenaga angin karena kemampuannya untuk mengatur ketidak seimbangan energi sepanjang waktu. Hal ini dilakukan dengan membuat optimisasi pada kombinasi antara tenaga angin dan PLTA pompa tersebut. Model optimisasinya diformulasikan dengan dua tahapan program stochastic yang mempertimbangkan dua parameter random yaitu harga pasar dan pembangkit tenaga angin. Dua konfigurasi gabungan yang berbeda adalah pemodelan dan perbandingan dengan referensi operasi yang tidak terkoordinasi [11].

Dewasa ini teknik komputasi evolusioner yang baru yang dikenal dengan particle swarm optimization (PSO) digunakan untuk berbagai aplikasi optimisasi. Teknik ini memiliki performansi dan fleksibilitas yang tinggi [12]. Pemecahan masalah koordinasi pembangkit hidro termis juga dapat digunakan swarm PSO ini untuk pembangkitan daya yang mempertimbangkan daerah operasi terlarang (prohibited operating zone/POZ). POZ menimbulkan karakteristik nonlinier pada masalah ini, dengan membagi daerah kerja menjadi sub daerah non-konveks yang beragam. Non-konveksitas ini akan mempengaruhi unjuk kerja dari algoritma untuk memprosesnya dengan benar. PSO digunakan sebagai algoritma dasar untuk mencari solusi yang lebih tepat. Algoritma PSO ini diperluas dengan fungsi Crazines

untuk pencarian yang efektif agar diperoleh kualitas solusi yang lebih tepat. Pertimbangan lain yang juga harus disertakan adalah keseimbangan daya, pengeluaran air, volume bendungan dan batas ramp (ramp limit) [13].

Bila diperlukan sampling yang besar, maka particle swarm optimization (PSO) yang mendasari teknik reduksi skenario akan dapat menjadi pilihan yang tepat untuk pendekatan pada distribusi skenario awal. Skenario ini digunakan untuk pemodelan pada ketidak pastian yang dapat direpresentasikan dengan natural stochastic. Kebanyakan masalah optimisasi sistem tenaga listrik harus diselesaikan dalam ketidakpastian. Dalam hal ini diusulkan model tingkat beragam untuk operasi yang optimal dari pembangkit lain yang tergabung dalam sistem tenaga listrik. Suatu algoritma PSO yang parameternya bebas melakukan pembelajaran sendiri digunakan untuk memecahkan model deterministik dan stochastic. Kesulitan prosedur solusi dapat diatasi dengan penggunaan unit pembangkit yang berbeda-beda [14].

3 METODE PENULISAN

Penjadwalan PLTA Pompa sangat diperlukan untuk menentukan waktu operasi turbin dan pompa. Turbin beroperasi untuk memutar generator yang menghasilkan energi listrik yang disalurkan ke sistem tenaga listrik. Turbin tersebut diputar oleh air yang diturunkan dari bendungan atas ke bendungan bawah. Sedangkan pompa beroperasi untuk menaikkan air dari bendungan bawah ke bendungan atas. Pompa tersebut digerakkan oleh motor yang mendapat suplai daya dari sistem tenaga listrik.

Dengan beroperasi turbin dan pompa atau generator dan motor pada PLTA Pompa silih berganti berarti daya listrik dihasilkan dan dikonsumsi silih berganti pada rentang waktu tertentu dalam sistem tenaga listrik. Hal ini akan menimbulkan adanya aliran daya yang besar pada sistem yang dapat mempengaruhi kestabilan sistem tenaga listrik JAMALI. Sistem tenaga listrik JAMALI yang terdiri

dari pembangkit hidrotermis dapat dilihat pada Gambar 2 [16].

Penjadwalan PLTA Pompa tidak bisa dilepaskan dari penjadwalan pembangkit hidro termis, sehingga untuk penjadwalannya harus berpatokan pada optimisasi pembangkit hidro termis agar didapatkan jalur pembagian beban yang optimal. Dari optimisasi pembangkit hidro termis itu akan terlihat waktu-waktu beban puncak dan beban rendah yang akan digunakan untuk mengoperasikan generator dan motor PLTA Pompa.

Hal lainnya yang juga perlu diperhatikan untuk dimasukkan ke dalam penjadwalan tersebut adalah ketersediaan air pada bendungan atas dan bendungan bawah yang dipengaruhi oleh musim dan pemanfaatan air untuk berbagai keperluan. Dari penjadwalan operasi PLTA Pompa tersebut akan diperoleh penghematan biaya pemakaian bahan bakar pembangkit termis.

Untuk melakukan penelitian ini digunakan metode particle swarm optimization (PSO) yang diaplikasikan untuk optimisasi pembangkit hidro termis pada sistem tenaga listrik Jawa-Madura-Bali dan diselesaikan dengan menggunakan Matlab. Metode PSO mempunyai kelebihan sebagai berikut:

- Performa yang diberikan sangat baik.
- Hasil yang diperoleh lebih akurat dibandingkan dengan metoda iterasi lambda.
- Kecepatan dalam melakukan perhitungan lebih tinggi.
- Algoritma yang dimiliki lebih sederhana
- Telah banyak diaplikasikan dalam berbagai persoalan optimisasi sistem tenaga seperti economic dispatch dan unit commitment.

Metode particle swarm optimization (PSO) digunakan dalam penelitian ini untuk melakukan prediksi beban listrik dan optimisasi pembangkit hidro termis. Terkait dengan optimisasi sistem tenaga listrik

dengan masuknya PLTA Pompa ke sistem Jawa-Madura-Bali,



Gambar 2 Sistem tenaga listrik JAMALI yang terdiri dari pembangkit hidrotermis pada:
 (a) Bagian Jawa Barat dan DKI Jakarta
 (b) Bagian Jawa Tengah dan DIY
 (c) Bagian Jawa Timur & Bali

maka dalam penelitian ini, untuk penulisan disertasi dibuat 5 perumusan masalah:

1. Prediksi beban sistem dalam jangka pendek.

2. Optimisasi pembangkit hidro termis.
3. Penjawalan operasi PLTA Pompa.
4. Aliran beban pada sistem tenaga listrik akibat beroperasinya PLTA Pompa.
5. Analisis penghematan biaya produksi energi listrik.

4 PEMBAHASAN

Bergabungnya PLTA Pompa dengan pembangkit hidro termis yang telah beroperasi pada sistem tenaga listrik JAMALI, maka berbagai kajian dapat dilakukan antara lain:

1. Memprediksi beban harian tenaga listrik jangka pendek yang diperlukan untuk penjawalan operasi PLTA Pompa.
 2. Membuat penjadwalan operasi pumped storage selama periode satu tahun dengan mempertimbangkan faktor ketersediaan air dan biaya bahan bakar pembangkit termis.
 3. Menentukan optimisasi pembangkit hidro termis sehingga diperoleh penghematan dalam pemakaian bahan bakar pada pembangkit tersebut.
 4. Melakukan analisis terhadap aliran beban sebagai akibat dari beroperasinya PLTA Pompa baik ketika pembangkitan maupun pemompaan.
 5. Melakukan analisis terhadap biaya produksi pembangkit termis dengan memasukkan kedalam perhitungan operasi PLTA Pompa.
 6. Melakukan disain simulasi penjadwalan PLTA Pompa berdasarkan optimisasi pembangkit hidro termis.
- Untuk pengkajian ini masalahnya dapat dibatasi pada:
1. PLTA Pompa yang masuk kedalam sistem tenaga listrik adalah Upper Cisokan Pumped Storage Hydro Power Plant (UCPSPP).
 2. Prediksi beban harian jangka pendek hanya sampai 2014 dimana PLTA Pompa direncanakan mulai beroperasi.
 3. Sistem tenaga listrik hanya berada pada wilayah Jawa-Madura-Bali yang akan dilakukan optimisasi pembangkit hidro termis, analisis aliran daya dan simulasi penjadwalannya.

Penjadwalan PLTA Pompa memegang peranan penting dalam sistem tenaga listrik

untuk mendapatkan penghematan biaya operasi pembangkit termis. PLTA Pompa merupakan pembangkit hidro yang operasinya dapat dibalik dari turbin menjadi pompa dan generator menjadi motor atau sebaliknya. Dalam penjadwalannya harus berpatokan pada pembagian beban pembangkit hasil dari optimisasi pembangkit hidro termis.

Untuk membuat penjadwalan operasi pumped storage maupun optimisasi pembangkit hidro termis yang terdapat pada jangka pendek, maka perlu dilakukan prediksi beban pada jangka tersebut. Dengan beroperasinya pumped storage, maka akan timbul aliran beban dan berpengaruh pada kestabilan sistem tenaga listrik.

State of arts dari pengetahuan dan teknologi dalam optimisasi pembangkit hidro termis dengan masuknya pumped storage ke dalam sistem tenaga listrik masih memberikan banyak peluang terutama dengan mengaplikasikan berbagai metode optimisasi. Metode optimisasi tersebut ditentukan untuk mendapatkan proses komputasi yang cepat dan hasil yang akurat.

Tulisan ini diharapkan dapat memberikan tiga kontribusi yang penting sebagai berikut:

Pertama dari sudut pandang terobosan ilmu sebagai dasar keteknikan yaitu aplikasi dari suatu metode optimisasi untuk melakukan optimisasi pembangkit hidro termis.

Kedua, temuan pada prediksi beban jangka pendek untuk menantisipasi kebutuhan besarnya pembangkit hidro yang dalam hal ini PLTA Pompa.

Ketiga temuan pada aliran beban yang dapat mempengaruhi kestabilan sistem tenaga listrik dalam hal ini JAMALI.

5 SIMPULAN

1. PLTA Pompa (*pumped storage*) menjadi penting karena dibutuhkan untuk penyimpanan dan pembangkitan listrik untuk mensuplai kebutuhan beban yang tinggi.

2. Untuk kebutuhan analisis perlu dilakukan simulasi pada prediksi beban listrik dalam jangka pendek, optimisasi pembangkit hidrotermis, penjadwalan operasi pumped storage, dan aliran daya pada sistem tenaga listrik Jawa-Madura-Bali (JAMALI).
3. Penjadwalan operasi PLTA Pompa ditujukan untuk mendapatkan biaya operasi yang rendah pada pembangkit termis

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] Marsudi Djiteng, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Graha Ilmu, Jakarta, 2006.
- [2] Xiaohong Ouan, Peter B. Uih, Houzhong Yan Peter Rogan, Optimization-Based Scheduling of Hydrothermal Power Systems with Pumped-Storage Units, IEEE Transactions On Power System Vol. 9, No. 2, May 1994.
- [3] Toshiyuki Sawa, Yasuo Sato, Mitsuo Tsurugai, Tsukasa Onishi, Daily Integrated Generation Scheduling for Thermal, Pumped-Storage Hydro and Cascaded Hydro Units and Purchasing Power Considering Network Constraints, IEEE Transactions on Power and Energy, 2008.
- [4] Pumped Storage Reservoirs – storing energy to cope with big demands, www.darvill.clara.net/altenerg/pumped.htm.
- [5] The Principles Of Pumped Storage, www.fhc.co.uk/pumped_storage.htm.
- [6] Dr. Mohamed Farhat, Hydronet: a standardised methodology for pumped-storage power plant, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, 2009
- [7] Xiaohong Ouan, Peter B. Uih, Houzhong Yan Peter Rogan, Optimization-Based Scheduling of Hydrothermal Power Systems with Pumped-Storage Units, IEEE Transactions On Power System Vol. 9, No. 2, May 1994.
- [8] H. C. Chang, P.H. Chen, Hydrothermal generation scheduling package, A genetic based approach, IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 145. No. 4, July 1998.
- [9] Zhai, Qiaozhu Guan, Xiaohong Cui, Jian , Unit Commitment With Identical Units: Successive Subproblem Solving Method Based on Lagrangian Relaxation, IEEE Transactions On Power System Vol. 17, No. 4, November 2002.
- [10] Balakumar Prasannan, Peter B. Luh Houzhong Van James A. Palmberg Lan Zhang, Optimization-Based Sale Transactions And Hydrothermal Scheduling, IEEE Transactions On Power System Vol. 11, No. 2, May 1996.
- [11] Garcia-Gonzalez, J. de la Muela, R.M.R. Santos, L.M. Gonzalez, A.M., Stochastic joint optimization of wind generation and pumped-storage units in an electricity market, IEEE Transactions On Power System, 01/06/2008.
- [12] Po-Hung Chen, Particle Swarm Optimization for Power Dispatch with Pumped Hydro, Department of Electrical Engineering, St. John's University Taiwan.
- [13] S. Titus, A. Ebenezer Jeyakumar, Hydrothermal Scheduling Using an Improved Particle Swarm Optimization Technique Considering Prohibited Operating Zones, International Journal of Soft Computing 2 (2): 313-319, 2007.
- [14] Pappala, V.S. Erlich, I., Power System Optimization under Uncertainties: A PSO Approach, Swarm Intelligence Symposium, 2008. SIS 2008. IEEE.
- [15] I Made Ardita, Catur Wahyu Prasetyo, Agung Sulistyo, Optimasi Pemanfaatan Energi Terbarukan Lokal Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Dengan Menggunakan Skenario Energi Mix Nasional, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung, 17-18 November 2008
- [16] Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional, Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral Jakarta, 15 April 2004.